Versuche über eine Methode zur Bestimmung des Verhältnisses der elektromagnetischen zur elektrostatischen Einheit der Elektricität.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VON DER PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

GENEHMIGT

UND

NEBST DEN BEIGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH ZU VERTHEIDIGEN

am 4. August 1890

VON

Arthur G. Webster

aus Brookline, Amerika.

OPPONENTEN:

Hr. Stud. phil. H. Lehmann.
- Stud. phil. L. Clečki.
- Dr. phil. E. F. Dragoumis.

BERLIN.

Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke).

Linienstrasse 158.

To my

Beloved Parents

as a slight token

of my appreciation of their care and interest in the promotion of my studies

the following is affectionately dedicated.

Die bisherigen Methoden zur Bestimmung des Verhältnisses zwischen den elektromagnetischen und elektrostatischen Einheiten der Elektricität zerfallen hauptsächlich in zwei Gruppen. Es wird in der ersten Gruppe eine Elektricitätsmenge oder ein Potential in den zwei Einheiten gemessen, indem die elektrostatische Messung mit dem absoluten Elektrometer geschieht, in der zweiten wird ein Condensator regelmässig geladen und entladen, die schnellen Entladungen wirken wie ein continuirlicher Strom, und man braucht nur die Anzahl Entladungen in der Secunde und den Werth eines Widerstandes zu kennen, um die Capacität in elektromagnetischem Maass auszudrücken. Es bleibt nun eine dritte Methode, die schon von Maxwell gegeben, aber meines Wissens von Niemandem ausgeführt worden ist. Maxwell nennt sie elektrostatische Messung eines Widerstandes. Sie besteht darin, dass man einen Condensator verbunden mit einem Elektrometer zu einem bestimmten Potential ladet, und dann während einer kurzen, genau gemessenen Zeit seine Platten durch einen grossen Widerstand mit einander verbindet. Durch das Verhältniss zwischen den Anfangs- und Endpotentialen, und die als lineare

Grösse bekannte Capacität des Condensators hat man dann den Widerstand elektrostatisch als reciproken Werth einer Geschwindigkeit ausgedrückt. Dieser und der elektromagnetische Werth des Widerstandes ergeben das Quadrat von „v“.

Als Instrument zur Messung der Zeit eignet sich sehr gut der Helmholtz'sche Pendelunterbrecher. Dieser ist von Cohn und Arons in ihrer Arbeit[1]) über Leitungsvermögen und Dielektricitätsconstante zu einem ähnlichen Zweck angewendet worden, und sie haben ebenfalls die Möglichkeit erwähnt, eine Bestimmung von „v“ damit zu machen. Es schien mir nicht ohne Interesse, eine Bestimmung auf diese Weise zu unternehmen, und angeregt von Herrn Professor Kundt habe ich die Versuche in seinem Laboratorium ausgeführt. Ich benutze diese Gelegenheit, um Herrn Professor Kundt, sowie seinem Assistent Herrn Dr. Arons, die mir mit Rath und That beigestanden haben, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Die Methode.

Indem die Maxwell'sche Anordnung, wo die theilweise Entladung des Condensators gemessen wird, mit praktischen Schwierigkeiten verknüpft ist, habe ich die Anordnung von Cohn[2]) gewählt, wie folgt.

Der Condensator C und das ihm parallel ge-

---

[1]) Wied. Ann. 28, p. 455, 1886.
[2]) Wied. Ann. 21, p. 646, 1884.

schaltete Elektrometer γ sind durch den grossen, inductionslosen Widerstand w mit der Säule s verbunden. Bei (1) bildet der nicht bewegliche Contacthebel des

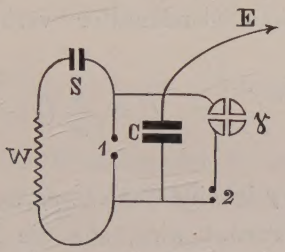

Fig. a.

Pendels einen Kurzschluss, so dass der Condensator erst nach Aufschlagen des Pendels gegen den Hebel anfängt, geladen zu werden. Nach einer Zeit t wird das Elektrometer durch Aufschlagen des Pendels gegen den zweiten Hebel abgetrennt und der Ausschlag abgelesen. Ist p_o die elektromotorische Kraft der Säule, w der Widerstand, C und γ die Capacitäten des Condensators, bezw. des Elektrometers, so ist p, das Potential zu welchem Condensator und Elektrometer zur Zeit t geladen sind,

$$p = p_o \left(1 - e^{-\frac{t}{w(c+\gamma)}}\right)$$

also

$$\log_e p_o - \log_e (p_o - p) = \frac{t}{w\,(c+\gamma)}$$

und wenn τ die Zeit entsprechend einem Trommeltheil der Mikrometerschraube bezeichnet, δ die Ablesung derselben, $t = \delta\tau$

$$a = \frac{\delta}{\log_e p_o - \log_e (p_o - p)} = \frac{w(c+\gamma)}{\tau}.$$

Wenn b dasselbe bezeichnet für den Fall, dass das Elektrometer ohne Condensator verbunden ist, so haben wir

$$b = \frac{w\gamma}{\tau} \qquad C = \frac{\tau}{w}(a - b).$$

Die Grösse γ ist eine Constante, weil das Elektrometer stets abgetrennt wird, ehe die Nadel sich aus der Ruhelage entfernt hat. Dass die Capacität sich nachher durch die Bewegung der Nadel verändert, geht uns hier nichts an, weil das Elektrometer auf eine solche Weise[3]) calibrirt wird, dass wir diese Veränderung nicht zu kennen brauchen.

Der zweite Theil der Arbeit bestand aus der Bestimmung des Zeitwerthes eines Trommeltheils der Mikrometerschraube des Pendels. Dies geschah durch die Pouillet'sche Methode. Die beiden Contacthebel wurden in zwei Stromkreise eingefügt, die aus den zwei Windungen eines differentialgewickelten ballistischen Galvanometers und zwei Widerstandskästen bestanden. Beide Stromkreise waren nebeneinander mit demselben Accumulator verbunden. Wenn C_1 und C_2 die Galvanometerconstanten der zwei Rollen sind, R_1 und R_2 die entsprechenden Widerstände, E die elektromotorische Kraft des Accumulators, so ist, wenn der Ausschlag null ist,

---

[3]) Cf. Cohn, l. c. p. 659.

$$E\left(\frac{C_1}{R_1} - \frac{C_2}{R_2}\right) = 0$$

und wenn R_1 durch den Widerstand Δ vermehrt wird, so dass der Ausschlag gleich ϑ_o wird,

$$E\left(\frac{C_1}{R_1 + \Delta} - \frac{C_2}{R_2}\right) = \vartheta_o.$$

Wenn nun bei Widerständen R_1 und R_2, mit der Nadel in der Ruhelage, das Pendel fällt, so wird zuerst der Kreis (2) unterbrochen, und der Strom (1) wirkt während der Zeit t allein und wird dann unterbrochen. Die Elektricitätsmenge, die während dieser Zeit durch das Galvanometer geflossen ist, wird gegeben durch die Gleichung

$$Q = \frac{\vartheta_1}{C_1} \frac{T}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} e^{\frac{\lambda}{\pi} \arctan \frac{\pi}{\lambda}} = \frac{E}{R_1} \delta\tau,$$ [4]

wo ϑ_1 der erste Ausschlag der Nadel, T ihre Schwingungsdauer, λ das logarithmische Decrement ist. Durch Combiniren der letzten Gleichungen erhalten wir

$$C_1 E \frac{\Delta}{R_1 (R_1 + \Delta)} = \vartheta_o$$

$$\delta\tau = \frac{\Delta}{R_1 + \Delta} \frac{\vartheta_1}{\vartheta_o} \frac{T}{\sqrt{\pi^2 + \lambda^2}} e^{\frac{\lambda}{\pi} \arctan \frac{\pi}{\lambda}} = P.$$

---

[4]) E ist dasselbe wie vorher, weil der Widerstand des Accumulators zu vernachlässigen ist.

τ wird so gegeben, nur unter der Annahme, dass die Inductionsströme keine Wirkung hervorbringen.

Die Apparate.

Der Condensator war ein sehr schöner Plattencondensator, der mir sehr freundlich von Herrn Professor Himstedt zur Verfügung gestellt wurde, und ist derselbe, welcher von ihm in seiner Bestimmung[5]) von „v“ gebraucht wurde. Ich möchte es hier nicht unterlassen, Herrn Professor Himstedt für die Benutzung des Condensators, ohne welchen die Ausführung der Arbeit zu dieser Zeit mir unmöglich gewesen wäre, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Indem es nicht im Plan der Arbeit lag, eine endgiltige Bestimmung zu machen, sondern nur einen Blick über die Leistungsfähigkeit der Methode und die möglichen Verbesserungen derselben zu gewinnen, und weil meine Mittel es mir nicht erlaubten, eine so genaue Bestimmung der in die elektrostatische Capacität eingehenden Längengrössen auszuführen, habe ich die Ausmessung des Condensators unterlassen und die Werthe aus der Arbeit von Herrn Professor Himstedt entnommen.

Die Platten hatten einen Durchmesser von

$$d = 49{,}947 \text{ cm}$$

und eine Dicke von 1,727 cm. Die obere Platte war von der unteren durch drei kleine Glascylinder ge-

---

[5]) Wied. Ann. 29, p. 560, 1886.

trennt, die einen Durchmesser von 0,4 cm hatten. Es wurden drei verschiedene Capacitäten gebraucht, wozu die Glasstücke die Höhen hatten

0,4761 0,2095 0,1683.

Die Dicke der letzten Glasstücke stand nicht bei Himstedt, sondern wurde gemessen mit einem Wild-schen Sphärometer und auf Dicken der anderen bezogen. Aus diesen Angaben ergaben sich die Capacitäten durch die Kirchhoff'sche Formel berechnet als

$$C = 350{,}204$$
$$C = 770{,}513$$
$$C = 998{,}459.$$

Der Condensator ruhte auf einem hölzernen Stativ, 80 cm vom Fussboden und so weit von anderen Gegenständen entfernt, als es die Grösse des Zimmers erlaubte, was freilich nicht über ein Meter war. Die Zuleitungsdrähte waren zu Schrauben in der Mitte der Platten geführt und waren auf langen Siegellackstangen isolirt.

Der Pendelunterbrecher war derselbe, welcher von Schiller[6]) gebraucht wurde. Sein Elektromagnet wurde durch einen Accumulator erregt.

Das Elektrometer war ein Thomson'sches Quadrantelektrometer. Weil nur erste Ausschläge abgelesen wurden, war es nothwendig, die Schwingungsdauer lang zu machen, um eine genaue Ablesung zu gestatten, und nachdem die zwei Fäden der Auf-

[6]) Pogg. Ann. 152, p. 535, 1874.

hängung so nah an einander gebracht wurden, wie die Construction des Instruments erlaubte, habe ich die Nadel mit einem Stück Draht belasten müssen. Dadurch wurde eine Schwingungsdauer von ungefähr 4 Secunden erzielt, was doch so kurz war, dass bei ziemlich grossen Ausschlägen eine genaue Ablesung sehr schwer war, und desshalb würde es bei einer Wiederholung der Versuche sich empfehlen, ein Elektrometer zu gebrauchen, welches zu ballistischen Zwecken construirt ist, ohne Dämpfung und mit grosser Schwingungsdauer, wie es z. B. bei Gouy[7]) geschehen ist. Bei meinem Instrument wirkte anfangs der Replenisher nicht, und ob ich ihn mehrmals abänderte, habe ich erzielt, dass er nur im Stande war, das Potential der Nadel herunterzubringen, nicht aber zu vermehren. Indessen habe ich diese Schwierigkeit vermieden, indem ich jeden Abend eine kleine Elektricitätsmenge von einer Leydener Flasche dem Elektrometer hinzufügte, so dass die Probirplatte etwas zu hoch stand, und am folgenden Morgen habe ich den Replenisher so lange gedreht, bis die Platte zur richtigen Stelle gesunken war. Dann blieb das Potential der Nadel den ganzen Tag sehr genügend constant, und die Wanderungen des Nullpunkts waren sehr langsam. Der Zuleitungsdraht vom Pendel war gegen elektrostatische Störungen durch ein mit der Gasleitung verbundenes Zinkblechrohr geschützt, auf welches die Drähte vom zweiten Quadrantenpaar, von

---

[7]) Comptes Rendus, 2 Juin 1890.

der unteren Platte des Condensators, und von einem Pol der Säule gelöthet waren. Indem das Elektrometer ein gewisses „Kriechen“ anfangs zeigte, habe ich die Schwefelsäure mit neuer, mit Ammoniumsulfat gekochter ersetzt, nach welchem das Kriechen verschwand.

Die Widerstände waren aus Graphit. Fein geschliffene Glasplatten wurden an den Enden mit einer dünnen Schicht Platin eingebrannt, worauf mit einem nicht zu harten Bleistift eine gleichmässige Linie gezogen wurde. Darauf konnten auf das Platin Drähte gelöthet werden, die sehr festhielten. Die Platten waren mir sehr freundlich von Herrn Professor Kundt auf das ihm eigenthümliche Verfahren platinirt, und bietet diese Construction eine sehr bequeme Weise Graphitwiderstände zu gebrauchen, nur erfordert es eine gewisse Uebung, auf das Platin löthen zu können, was das galvanoplastische Bedecken mit Silber erleichtert. Nach mehrmaligem Misslingen gelang es mir drei brauchbare Widerstände herzustellen, deren Gesammtbetrag ungefähr fünf Millionen Ohm war. Dieselben wurden mit Schellackfirniss überzogen und zur Vermeidung von Temperaturschwankungen in einen grossen Becher voll Petroleum gestellt. Die Verbindungen wurden hergestellt durch Quecksilbernäpfe in dem Paraffindeckel des Becherglases, und wurden die Widerstände gemessen, ohne sie von der Stelle zu bewegen. Zur Messung diente ein Galvanometer von Siemens & Halske von ca. 12000 S. E. Widerstand, und ein Widerstandskasten, der in der

physikalisch-technischen Reichsanstalt geaicht war. Das Galvanometer war sehr stark gedämpft, so dass es aperiodisch war, was für einen solchen Zweck nicht sehr gut angebracht ist, weil zur Vermeidung von Erhitzen der Widerstände der Strom nur sehr kurze Zeit fliessen darf und die Nadel möglichst schnell antworten sollte. Ueber aperiodische Galvanometer sind Constanten schwer anzugeben, weil es keine Schwingungsdauer giebt, worauf die Empfindlichkeit zu beziehen, doch bei einer solchen Astasirung, dass bei ziemlich grossen Ausschlägen die Nadel von zwölf bis fünfzehn Secunden brauchte, um sehr nahe an den Nullpunkt zurückzukommen, war der Ausschlag bei drei Meter Skalenabstand gleich 4600 mm pro Mikroampère.

Zu den Messungen von τ diente ein Galvanometer Wiedemann'scher Construction, wovon jeder Leitungsdraht 2300 Umläufe machte und 79 S. E. Widerstand besass. Die grossen Kupferstöpsel der Dämpfung wurden entfernt und nur die Hülse gelassen, so dass die Dämpfung einen nicht zu grossen Werth erreichte. Die Nadel wurde so weit belastet, dass die Schwingungsdauer 5,9 Secunden betrug, und nachdem ein Theil der Versuche so ausgeführt war, wurde die Schwingungsdauer mittelst Astasirung durch einen vor das Galvanometer gelegten Magnet auf 9,6 Secunden vermehrt. Die Widerstände wurden aus zwei Widerstandskästen genommen, wovon die R_1 bildenden Spulen mit dem Normalwiderstandskasten verglichen wurden. Die Schwingungsdauer

wurde bestimmt vermittelst eines Taschenchronographen mit Arretirung, womit ein Fünftel Secunde zu lesen war, und dessen Gang sich durch zweimal tägliche Vergleichung mit einem Normalchronometer von Tiede als weniger als 1/10000 ergab. Gewöhnlich wurde die Dauer von circa 10 Schwingungen beobachtet.

Die Versuche.

Weil das Elektrometer nicht dauernd mit Elektricitätsquellen von constantem Potential verbunden war, sondern nur getrennte Elektricitätsmengen zu messen hatte, die innerhalb der kurzen Zeit zwischen den zwei Stössen des Pendels in das Elektrometer flossen, wurden die Beobachtungen vermittelst erster Ausschläge ausgeführt, und zu dem Zwecke wurde eine Calibrirung des Elektrometers auch mit dem Pendel vorgenommen. Die Anordnung war dieselbe wie in der Figur, ohne dass der Condensator verbunden war. Für die Säule war eine Verzweigung durch einen Widerstandskasten vom Strom von einem Accumulator genommen, was eine Veränderung des gebrauchten Potentials gestattete. Es zeigte sich, dass, wenn der Widerstand so klein genommen war, dass bis zu einem unmerklichen Bruchtheil ihres Werthes die volle Ladung des Elektrometers innerhalb der Zeit erfolgte, welche einem Trommeltheil der Schraube entsprach, bei einer gegebenen Stellung der Schraube die Ausschläge einfach proportional den bei s gebrauchten Potentialen p_o waren, desshalb war eine

Reduction der Ausschläge nicht nothwendig. Die Empfindlichkeit des Elektrometers war eine solche, dass auf diese Weise das gewöhnlich gebrauchte Potential von 5/7 der elektromotorischen Kraft eines Accumulators bei drei Meter Skalenabstand einen Ausschlag von 215 mm gab. Der Nullpunkt der Schraube konnte bis auf einen halben Skalentheil bestimmt werden, indem die Nadel beim Fallen des Pendels in Ruhe blieb, bei der kleinsten möglichen Verstellung der Schraube nach der positiven Seite aber einen grossen Ausschlag zeigte[8]).

In Tafel I*) sind die Resultate der ersten Gruppe von Beobachtungen gegeben, wo die Versuchsordnung folgende war. Der grosse Graphitwiderstand und der Condensator wurden eingeschaltet, und bei derselben Stellung der Schraube wurden vier bis acht Ausschläge beobachtet, alternirend nach rechts und links, um Temperatur-Einflüsse zu eliminiren. Dann wurde anstatt des grossen Widerstandes einer von unter tausend Einheiten eingeschaltet und das volle Potential beobachtet. Bei Cohn und Arons zeigte es sich, dass dieses volle Potential für verschiedene Stellungen der Schraube nicht ganz dasselbe war; bei mir waren diese Veränderungen unmerklich, doch habe ich es nicht unterlassen, p_o jedesmal zu bestimmen. Alternirend mit den Versuchen mit dem

---

[8]) Ein federnder Draht, der den Contacthebel (2) nach Oeffnung mit der Erde wieder in Verbindung setzte, war angebracht, wie bei Cohn u. Arons l. c.

*) Siehe pag. 18 und 19.

Condensator wurden andere mit dem Elektrometer allein gemacht, und gleich vor und nachher wurde der Widerstand gemessen.

In Tafel I sind die Werthe von $\frac{1}{a}$ und $\frac{1}{b}$ angegeben, für verschiedene Widerstände, und auch die Werthe von $\frac{w}{a}$ und $\frac{w}{b}$, welche constant sein sollten. Für diese Gruppe wurde der Einfluss der Condensatorzuleitungsdrähte ermittelt, indem mehrere Versuche angestellt wurden, wo erstens Elektrometer allein, zweitens Elektrometer plus Zuleitungsdraht ohne Condensator verbunden waren. Diese ergaben

$$\frac{\gamma + d}{\gamma} = 1{,}183.$$

Aus Tafel I haben wir

$$\frac{C}{\gamma} = \frac{a}{b} - 1 = 3{,}170$$

und durch Elimination von γ bekommen wir

$$\frac{C + d}{C} = 1{,}062.$$

Durch diese Zahl ist also die aus der Tafel berechnete Capacität zu dividiren.

Um nun deutlicher zu zeigen, dass für sehr verschiedene Stellen der Schraube die Werthe von a und b wirklich constant waren, und von möglichen Veränderungen im Einfluss des Zuleitungsdrahtes frei zu werden, wurden weitere Gruppen von Beobachtungen

Tafel I.

$C_e = 350{,}204.$

ϑ	p_o	p	$10^4 \times \frac{1}{a}$
1966	216,03	117,62	1,737
366	216,60	100,23	.....
2466	215,55	135,72	1,749
466	214,41	117,60	.....
1466	216,35	97,05	1,763
466	216,12	118,05	.....
366	214,63	99,39	.....
966	213,18	69,12	1,762
1966	213,22	117,09	1,760
1566	213,75	101,35	1,782
316	214,31	89,62	.....
466	215,42	116,30	.....
1666	214,61	105,52	1,764
366	239,40	109,57	.....
366	216,28	96,06	6,968
100	216,00	112,02	7,205
112,5	218,93	178,00	.....
112,5	224,23	76,28	16,050

Tafel I.

$C_e = 350{,}204.$

$10^4 \times \frac{1}{b}$	$10^{-15} \times w$	$10^{-11} \times \frac{w}{a}$	$10^{-12} \times \frac{w}{b}$
.....	5,1117	8,879	.....
7,372	5,1117	.....	3,768
.....	5,1117	8,940	.....
7,410	5,1117	.....	3,788
.....	5,0678	8,935	.....
7,364	5,0678	.....	3,732
7,379	5,0678	.....	3,739
.....	5,0678	8,929	.....
.....	5,0658	8,916	.....
.....	5,0658	9,027	.....
7,444	5,0658	.....	3,771
7,234	5,0768	.....	3,673
.....	5,0768	8,955	.....
7,261	5,1039	.....	3,706
.....	1,2525	8,728	.....
.....	1,2634	9,103	.....
64,730	0,5626	.....	3,642
.....	0,5590	8,972	
	Mittel	8,9384	3,7274

Tafel II.

	δ	p_o	$p\,(a)$	$p\,(b)$
Gruppe II.	261	236,2	130,1	204,4
	241	237,3	123,6	198,1
	221	238,5	116,0	194,1
	201	238,0	108,0	185,1
	181	237,7	99,5	179,0
	161	239,5	....	168,6
	141	242,5	....	157,7
	121	241,5	....	143,8
	101	240,6	....	129,0
	81	240,2	....	111,1
Gruppe III.	100	237,5	54,0	95,8
	120	236,2	61,9	109,6
	140	233,6	70,6	....
	160	236,0	80,7	133,7
	180	235,9	86,6	142,5
	220	238,8	101,2	....

Tafel II.

a	b	$w \times 10^{-14}$	C_e
750,9	298,2	5,7816	350,204
753,8	308,4		
763,8	302,5		
765,5	307,8		
768,7	298,1		
....	304,5		
....	308,8		
....	307,7		
....	300,6		
....	298,2		
760,54	303,48		
895,0	446,4	5,7608	350,204
909,2	443,1		
895,3	....		
879,7	440,7		
906,3	447,5		
918,6	....		
900,9	444,4		

Tafel II.

	δ	p_o	$p\,(a)$	$p\,(b)$
Gruppe IV.	100	236,1	....	80,0
	140	237,5	....	106,5
	220	237,1	....	143,1
	260	237,1	....	156,4
	300	239,5	....	170,1
	380	237,0	90,1	188,0
	420	237,9	97,9	195,6
	460	238,2	105,2	203,1
	500	233,7	110,7	....
	540	233,0	114,0	....
	600	233,9	123,7	....
	650	236,4	129,9	....
	960	233,7	161,5	....
Gruppe V.	100	240,0	....	73,0
	200	239,5	....	123,7
	300	241,0	....	157,1
	400	239,7	102,5	181,4
	500	240,8	119,2	199,3
	600	241,1	134,6	....
	700	240,4	146,0	....
	800	240,4	159,4	....

Tafel II.

a	b	$w \times 10^{-14}$	C_e
....	555,9	5,7917	998,459
....	541,8		
....	547,5		
....	555,8		
....	558,2		
1829	555,1		
1823	559,9		
1816	553,5		
1818			
1834			
1835			
1877			
1883			
1839,4	553,46		
....	634,9	5,8133	770,513
....	633,3		
....	655,3		
1650	651,4		
1685	654,8		
1691			
1725			
1694			
1689	645,94		

gemacht, indem neben dem Elektrometer ein Hülfscondensator eingeschaltet war, so dass a und b nicht so verschieden von einander waren, und zwischen a und b wurde nichts verändert, als dass der Condensator losgebunden wurde, der Zuleitungsdraht aber stehen blieb.

Als Hülfscondensator diente einmal ein Kohlrausch'scher, einmal ein zweiter Condensator von Himstedt, jedesmal mit verschiedener Capacität. Die Vergrösserung der zu vergleichenden Capacitäten erlaubte dadurch eine viel genauere Bestimmung der Widerstände, indem es jetzt möglich war, einen kleineren Widerstand zu gebrauchen, und das Verhältniss der Brückenzweige bei der Messung desselben war viel günstiger. Es war möglich, den Widerstand mit einer Genauigkeit von 1/5000 zu bestimmen, doch blieb er nicht so constant.

In Tafel II*) sind die Resultate dieser Beobachtungen angegeben, wo gleich nacheinander bei allen Theilen der Schraube beobachtet wurde.

Die Zeitbestimmungen.

Dieselben geschahen wie oben beschrieben, nur ist es bis jetzt angenommen worden, dass die Inductionsströme ohne Wirkung waren. Schiller sagt ausdrücklich, dass in seiner Bestimmung dies der Fall war, bei mir war es jedoch nicht der Fall, sondern statt proportional den Mikrometerablesungen,

*) Siehe pag. 20—23.

nahmen die Galvanometerausschläge etwas schneller zu. Dies erklärt sich leicht wie folgt: Ist I_o die ursprüngliche Intensität des Stromes (1), so wird er durch plötzliches Verschwinden des Stromes (2) bis zu einem Werth I_1[9]) geschwächt und erreicht erst allmählich seinen ursprünglichen Werth wieder.

Dann ist zur Zeit t die Stromintensität

$$I = I_o + (I_1 - I_o)\, e^{-\frac{R\,t}{L}}$$

und die Elektricitätsmenge, die durch das Galvanometer geflossen ist,

$$Q = \int_o^t I\, d\, t = I_o\, t + \frac{L}{R}\,(I_o - I_1)\,(e^{-\frac{Rt}{L}} - 1),$$

wo L die Selbstinduction, R der Widerstand des Kreises ist.

Nennen wir

$$\frac{L}{R}\,\frac{I_o - I_1}{I_o} = \alpha \qquad \frac{R\,\tau}{L} = \beta \qquad t = \tau\,\delta\,,$$

so haben wir als Gleichung für τ, statt der auf S. 9 gegebenen,

---

[9]) $I_o - I_1 = \frac{M}{L} I_2$, wo M der Coefficient der gegenseitigen Induction der zwei Rollen, L der Selbstinduction von (1), I_2 die Intensität des Stromes (2), welche immer in einem constanten Verhältniss zu I_o ist. Desshalb ist auch $\frac{I_1 - I_o}{I_o}$ eine Constante.

$$\frac{Q}{I_o} = \delta\,\tau + \alpha\,(e^{-\beta\,\delta} - 1) = P,$$

wo α und β ebenfalls zu bestimmen sind. Diese transcendentale Gleichung lässt sich genau nicht lösen, indessen konnte ich folgendermaassen verfahren. Indem die Correction für grosse Werthe von δ sehr wenig ausmacht, konnte ich die Curve für P als Function von δ als mit ihrer Asymptote zusammen-

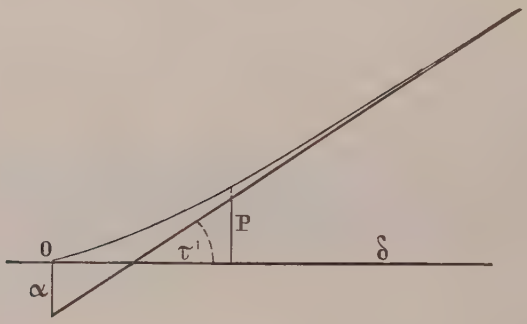

Fig. h.

fallend betrachten, und aus zwei Punkten die angenäherten Werthe von τ und α berechnen. Dann aus einem viel kleineren δ leitete ich den Werth von β ab. Diesen Werth benutzte ich, um aus irgend zwei Beobachtungen die Werthe von τ und α zu berechnen. Die Grösse β ergab sich, wenn in der Gleichung 10 statt e stand, als gleich 0,00052, das heisst, in einer Zeit von 1923 Trommeltheilen hatte sich der veränderliche Theil der Correction bis auf ein Zehntel seines Werthes reducirt.

Tafel III. Zeitbestimmungen.

δ	ϑ_1	ϑ_0	T	λ	$R+\Delta$	Δ	$10^3 \times Q$	$10^6 \times \tau$
3907	55,6	252,80	5,931	0,1347	589,12	5,007	3,7670	1,167
2907	39,37	196,90	5,923	0,1378	588,12	4,042	2,7469	
2907		246,40			589,12	5,007		
2966	65,95	272,30	9,619	0,2210	581,46	2,011	2,7822	1,181
4466	99,98	272,30	9,619	0,2210	581,46	2,011	4,2178	1,112
6966	172,58	278,94	9,578	0,2295	581,46	2,011	7,0770	1,125
5966	145,38						5,9616	1,117
4966	117,67						4,8253	1,125
3966	90,40						3,7071	1,124
2966	63,30						2,5957	1,126
							Mittel	$\tau = 1{,}1346 \times 10^{-6}$

Auf diese Weise sind berechnet die Werthe von τ, die in Tafel III*) gegeben sind. Es ergiebt sich als Mittelwerth von

$$\tau = 1{,}1346 \text{ Milliontel Sec.}$$

Resultate.

Wir haben jetzt für die Capacität in elektromagnetischem Maass

$$C_m = \frac{M\,\tau}{w}\,(a—b)$$

wo M der Modul der gemeinen Logarithmen ist, und für „v“

$$v^2 = \frac{C_e}{C_m}.$$

Die verschiedenen Beobachtungsgruppen geben die folgenden Werthe:

Gruppe I:

$C_e = 350{,}204 \quad C_m = 3{,}9710 \times 10^{-19},\ v = 2{,}970 \times 10^{10},$

Gruppe II:

$C_e = 350{,}204 \quad C_m = 3{,}8954 \times 10^{-19},\ v = 2{,}998 \times 10^{10},$

Gruppe III:

$C_e = 350{,}204 \quad C_m = 3{,}9026 \times 10^{-19},\ v = 2{,}996 \times 10^{10},$

Gruppe IV:

$C_e = 998{,}459 \quad C_m = 10{,}940 \times 10^{-19},\ v = 3{,}021 \times 10^{10},$

*) Siehe pag. 27.

Gruppe V:

$C_e = 770{,}513 \quad C_m = 8{,}8415 \times 10^{-19}, \; v = 2{,}952 \times 10^{10}.$

Mittel $v = 2{,}987 \times 10^{10}$.

Der Vortheil der Methode besteht in der constanten Beschaffenheit des zeitmessenden Instrumentes gegenüber einer Stimmgabel oder anderem Disjunctor. Die Zeitbestimmungen können über eine lange Zeit erstreckt werden, mit ziemlich grosser Sicherheit, weil das Instrument unverändert bleibt, doch ist die absolute Bestimmung der Zeit etwas complicirt, und erfordert eine constante Batterie und ein constantes magnetisches Feld. Obschon die Methode keine Nullmethode ist, gestattet sie so viele Veränderungen der verschiedenen Grössen, dass constante Fehler leicht eliminirt werden. Jedenfalls hoffe ich, dass ich gezeigt habe, dass die Methode zu verwenden ist, und eine Bestätigung der auf ganz anderem Wege erreichten Resultate geben kann. Ich hoffe, dass eine weitere Gelegenheit sich bieten wird, die Bestimmung genauer zu wiederholen.

Schliesslich sei es mir als letztes Wort vergönnt, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Kundt, für die beständige Freundlichkeit und Hülfe, die er während der Zeit meines Studiums in seinem Laboratorium mir erwiesen hat, meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Thesen.

I.

Die Physik bietet die erste natürliche Veranlassung zu einem strengen Denken, und sollte bei der Erziehung der Jugend so benutzt werden.

II.

Obschon die elektromagnetische Theorie des Lichtes uns die grösste Leichtigkeit in der Auffassung der optischen Phänomene darbietet, giebt sie uns doch keine Erklärung der wirklichen Natur der Lichtbewegung.

III.

Messungen von Inductions-Coefficienten und Capacitäten verdienen einen viel grösseren Platz in physikalischen Uebungs-Cursen, als ihnen bis jetzt ertheilt worden ist.

VITA.

Natus sum Arthurus Gordon Webster a. d. IV. Cal. Dec. a. h. s. LXIII Brookliniae in civitate Massachusettensi reipublicae Americanae, patre Guilelmo, matre Maria e gente Davis, quos dilectissimos adhuc superstites esse vehementer gaudeo. Fidei addictus sum evangelicae. Admodum puer una cum parentibus in urbem Newtoniam transmigravi, ibique litterarum elementis in gymnasio viri humanissimi Waterhouse auspiciis florente imbutus sum. Auctumno a. h. s. LXXXI universitatem Harvardianam Cantabrigiae in civitate Massachusettensi adii, quae rectore Eliot, viro doctissimo clarissimoque florebat, floret. Scholis interfui virorum doctissimorum Bartlett, Byerly, Bôcher, Cohn, Gibbs, Hall, Lovering, Nash, B. O. Peirce, J. M. Peirce, Sheldon, Trowbridge, C. J. White. Quadriennio exacto baccalaurei artium honorem summa cum laude adeptus, per annum unum ibidem artes mathematicas docui. Deinde fama scholarum Germanicarum allectus, universitatis Harvardianae almae matris munificentia socius nominatus, a. h. s. LXXXVI me Berolinum contuli, et inter cives academicos receptus, per octies sex menses rebus physicis et mathematicis operam dedi. Feriis anni LXXXVII per duos menses Parisiis scholis interfui virorum doctissimorum Appell, Bertrand, Hermite, Lippmann, Poincaré, Picard, itemque anno sequente Stockholmiae viri doctissimi Mittag-Leffler et feminae clarissimae Kowalevski. Berolini viros audivi illustrissimos Dilthey, Fuchs, de Helmholtz, König, Kundt, Netto, Pernet. Quibus omnibus optime de me meritis, imprimis clarissimis illis de Helmholtz et Kundt, gratias ago semperque habebo quam maximas.